

**Визначення впливу багатофункціональних перегородок на рівень шуму у офісах типу «open space»**

**В. В. Березуцький, О. І. Ільїнська, Л. А. Васьковец, І. О. Мезенцева,  
В. В. Халіль**

*Розглянуто багатофункціональні перегородки та їх вплив на рівні шуму. Звернуто увагу на те, що існуючі системи класифікації будівельних перегородок розглядають їх, виходячи із зручності їх використання, матеріалу, дизайну тощо. При цьому недостатньо приділяють уваги їх впливу на показники зменшення рівня шуму у офісних приміщеннях.*

*Перегородки виготовляють з різних матеріалів, які мають різні властивості, є різними за формою, на різній відстані від полу перекривають приміщення або робочий простір. У таких випадках виникає складна задача вибору певних типів перегородок, які, як це показано у роботі, дозволяють вирішити завдання оптимізації умов праці та зменшити негативний вплив шуму на здоров'я працівників. Виконані дослідження довели, що поставлена задача зменшення шуму завдяки використанню перегородок досягається. Фактори, які особливо потрібно врахувати: висота перегородки (ступень перекриття перегородкою відстані до стелі), матеріал перегородок, наявність технологічних отворів та геометрію їх розташування. Виявлено, що двошарові перегородки, які виконано з важких матеріалів (густина  $\approx 2500 \text{ кг/м}^3$ ) та перекривають на 100 % приміщення за висотою, здатні зменшувати рівень шуму в 2–3 рази (із 90 дБА до 30–45 дБА). Перегородки із скла (труби скляні), середньої ваги (густина  $\approx 1200 \text{ кг/м}^3$ ), зменшують шум в 1,5–1,6 раз. Якщо перекриття приміщення не повне або є отвори, вентиляційні шахти тощо, то ефект впливу перегородок значно зменшується, зводячи його практично нанівець. Відчутний вплив перегородок відбувається у частотному діапазоні 200–3000 Гц при рівнях шуму 40–60 дБА.*

*Шум досліджувався у приміщеннях типу «Open space», де були застосовані різні варіанти перегородок (скляні труби у металевому каркасі, керамічні плити, пінопластові плити). У результаті досліджень було встановлено, що перегородки можуть суттєво впливати на показники шуму, але тільки за умов повного перекриття приміщення по висоті, зачинених дверях і будівельних каналів у стінах. Встановлено, що матеріал перегородок не впливає на показники шуму, якщо ступінь перекриття не повна (менш 100 %).*

*Дослідження довели перспективність наукового обґрунтування застосування перегородок та визначення зв'язку перекриття приміщення із факторами, які впливають на працівників задля поліпшення умов праці, яке в свою чергу дозволить зменшити профзахворюваність, мінімізувати плинність кадрів, підвищити ефективність праці*

*Ключові слова: офіс типу «Open space», локалізація робочого простору, шум, будівельні перегородки*

## 1. Вступ

Суттєво впливають на здоров'я людини шуми, значення яких більше 70–80 дБА, тобто такі, які дійсно відчутні навіть без спеціальних приладів (шум у метро, коли прибуває потяг на станцію  $\geq 80$  дБА). Однак поруч з людиною завжди є фонові шуми, наприклад, шуми, які супроводжують роботу людини у офісах типу «Open space». Ці шуми за рівнем  $\leq 70$  дБА, але їх негативний вплив також має місце і супроводжує роботу працівника на протязі багатьох років. Дуже важко відстежити наслідки такого впливу у часі, тому що ці шуми мають характеристику «білого шуму» і, як правило, на нього не зважають керівники і працівники. З'являється адаптація організму працівника до таких шумів, але це не означає, що вони зникають, вони існують і руйнують по трохи здоров'я людини [1].

За даними Європейського агентства з навколишнього середовища, екологічний шум щорічно викликає принаймні 10 000 випадків передчасної смерті в Європі. Майже 20 мільйонів дорослих страждають від роздратування і ще 8 мільйонів страждають порушенням сну внаслідок екологічного шуму. Всесвітня організація охорони здоров'я визнала шум другою за значимістю екологічною причиною поганого здоров'я. Забруднення повітря було визначено як першу причину. 7 ЕАР (ЄС, 2013) включає в себе мету суттєвого зниження шумового забруднення до 2020 року. Регіональне бюро ВООЗ для Європи розробило низку керівних принципів, що ґрунтуються на зростаючому розумінні цих наслідків впливу екологічного шуму на здоров'я [2].

Шум є однією з найпоширеніших скарг працівників, що працюють в корпоративних офісних приміщеннях, особливо в концепціях відкритого офісу, де співробітники розташовані разом у великому просторі, де немає ніякого поділу. Багаторазові дослідження показали, що занадто велика кількість шуму в офісі може серйозно знизити продуктивність і підвищити стрес, не кажучи вже про меншу задоволеність роботою та моральний стан співробітників. Дослідження в Університеті Сіднея у 2013 році показало, що відсутність здорового приватного життя є найбільшим розчаруванням для співробітників [3].

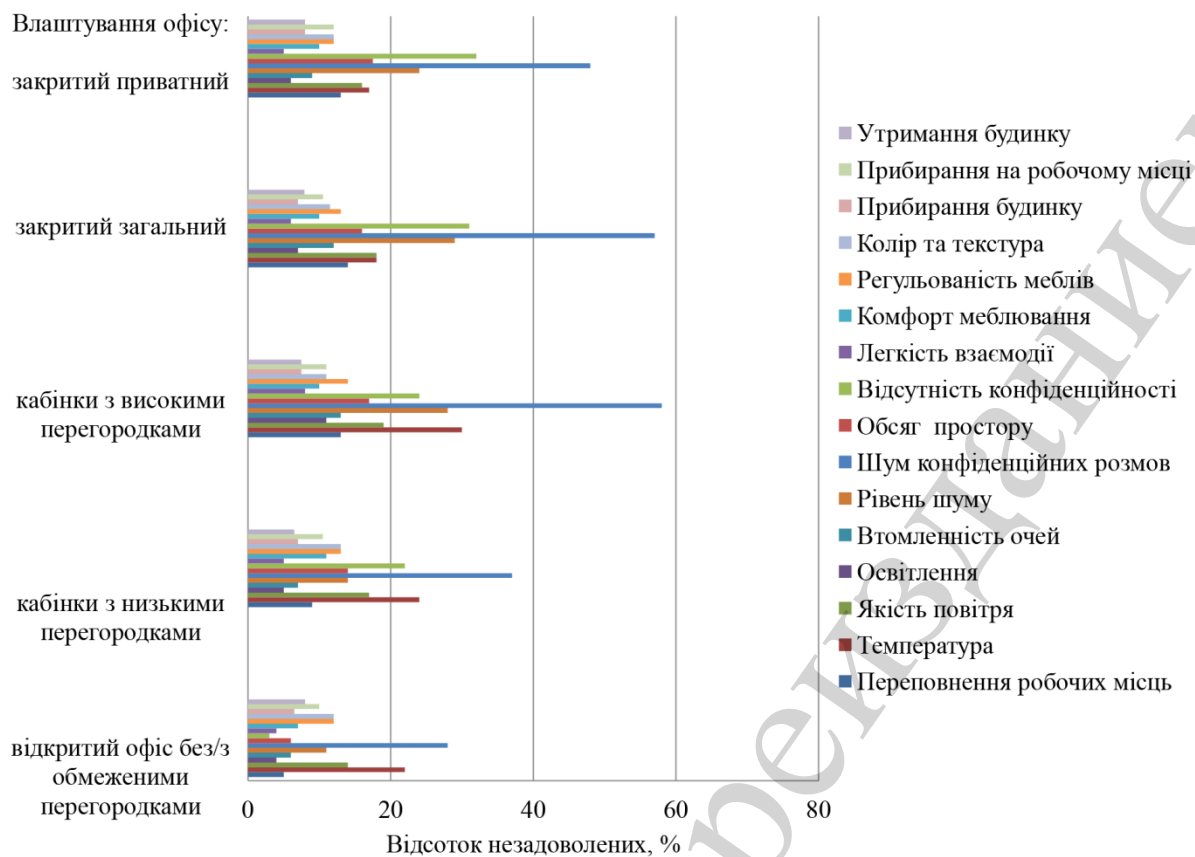


Рис. 1. Ілюстрація до досліджень в Університеті Сіднея [4]

Більшість керівників і співробітників офісів повідомляють про майже постійний шум на робочому місці. Багатьом не вистачає тихого простору для зустрічей або фокусування, стверджує новий звіт Oxford Economics, замовлений компанією Plantronics. 75 відсотків працівників говорять, що їм потрібно прогулятися на вулицю, а 32 відсотка використовують навушники, щоб відвернути увагу. Співробітники в найбільш шумних офісах, швидше за все, скажуть, що можуть залишити свою роботу протягом наступних шести місяців [4].

Ефекти постійного шумового забруднення, крім пошкодження слуху, можуть викликати інші проблеми зі здоров'ям: головний біль, підвищений артеріальний тиск, втому, дратівливість, розлади травлення, підвищену схильність до простудних та інших незначних інфекцій.

Зменшення впливу шуму на робочому місці можна досягти різними способами: змінити обладнання або використовувати його у звуконепроникному приміщенні; змінити місце роботи; змінити графік роботи; використовувати індивідуальні засоби захисту від шуму [5].

У роботі [6], наведено класифікацію перегородок офісу типу «Open space». Вказується на те, що перегородки повинні бути екологічно безпечними, зручними та мобільними при застосуванні. З найбільш популярних матеріалів, які використовують для виготовлення перегородок, є наступні: пінополіуретан, полістирол, дерево, газобетон, скло, керамзитові плити. Виходячи із цього, умовно усі перегородки можна розділити за акустичним супротивом звуку, який прямопро-

порційний вазі перегородки та частоті звуку, на три типи: важкі, наприклад, керамічні та цегляні; середні, наприклад, скляні та з дерева; легкі, наприклад, пінопласт, фанера тощо. Також, за ступенем перекриття приміщення по висоті можна розрізняти перегородки з повним перекриттям (100 %), з неповним перекриттям (від 75 % до 99 %), та з перекриттям навіпіл (від 50 % до 74 %).

Було виконано дослідження шуму у приміщеннях типу «Open space», де були застосовані різні варіанти перегородок (скляні труби у металевому каркасі, керамічні плити, пінополістирол). Метою дослідження було встановлення можливості зменшення рівня шуму за рахунок використання багатофункціональних перегородок. Встановлено, що перегородки можуть зменшувати шум, але тільки за умов повного перекриття приміщення по висоті та зачинених дверях і будівельних каналів у стінах. При цьому, матеріал, з якого виготовлено перегородки, впливає на показники, але не суттєво.

Навколишній шум стає зростаючою проблемою суспільної охорони здоров'я. Шум навколишнього середовища викликає порушення сну [7, 8], порушення навчання, гіпертонію, ішемічну хворобу серця [9] та дратівливість [10].

У 2018 році вийшло оновлено Керівництво ВОЗ з питання шуму в навколишньому середовищі для Європейського регіону [11], де представлені переконливі свідчення того, що шум є однією з провідних екологічних загроз фізичному і психічному здоров'ю та добробуту населення.

Автори Керівництва [12] відзначають, що при оцінці тягаря хвороб шум навколишнього середовища займає друге після забруднення повітря місце серед чинників ризику, пов'язаних з навколишнім середовищем. На даний час накопичено достатньо інформації для кількісної оцінки тягаря хвороб, обумовлених шумом навколишнього середовища, для таких наслідків, як серцево-судинні захворювання, когнітивні порушення, порушення сну, шум у вухах і дратівливість. У Керівництві ВОЗ також розглядаються докази позитивного впливу на здоров'я зменшення шуму і різних заходів щодо зниження рівня шуму. Розглядаються «екологічні» шуми як-то шум вітрогенераторів, шум під час дозвілля, транспортні шуми (авіація, автомобільні і залізні дороги), та не розглядається шум під час роботи. Хоча деякі рекомендації можна застосувати і до шуму на робочому місці.

Найбільш високі рівні шумів впливають на людину під час її активної діяльності, зокрема на робочому місці. Цей несприятливий робочий фактор крім описаних вище відхилень для здоров'я може викликати і погіршення працездатності, уважності, зосередженості, знижувати задоволеність роботою, послаблювати мотивацію праці. Надмірні відносно допустимих рівні шуму можуть викликати захворювання органів слуху, професійну та постійну втрату слуху [13]. Навіть на тих робочих місцях (наприклад, в офісах), де рівень шуму зазвичай не перевищує норми, встановлені в Україні [14] або в інших країнах, працівники та дослідники цієї проблеми визначають негативний вплив шуму на самопочуття та продуктивність праці [15, 16].

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

У роботі [17], що стосується одного з розповсюджених типів офісів – офісів «Open space», оглянуто переваги та недоліки подібних офісів. Відмічено, що шум є одним з значних недоліків подібних офісів, але в статті не зазначено зв'язок рівня шуму з різними типами перегородок та іншими методами зниження рівня шуму на робочих місцях.

У роботі [18] автори докладно описують недоліки офісної роботи, зазначають високу психоемоційну напруженість, малорухливість під час роботи, невдоволеність працівників інтенсивністю праці, що погіршується ще більше несприятливими умовами мікроклімату, освітлення, шуму, тощо. Зазначено, що багато офісів мають перегородки, які виконані з матеріалів, які не ефективні щодо звукопоглинання. Автори зазначають, що несприятливі умови праці, у тому числі шум, мають вплив на стан здоров'я офісних працівників і що дослідження цього питання, а також наукове обґрунтування, розробка та впровадження заходів поліпшення умов праці будуть актуальними.

Існує достатньо досліджень стосовно розповсюдження шуму, впливу його на людину, способів зниження рівню шуму біля транспортних магістралей [10, 19, 20], аеропортів [21–23], біля вітряних станцій [24] але досліджень, які б стосувалися дослідження розповсюдженню шуму та засобів його зниження у офісах, не багато. Дослідження [25] пов'язує різні рівні (39 дБА та 51 дБА) офісного шуму з самопочуттям та концентрацією робітників. У випадку, коли рівень шуму був вище (51 дБА) спостерігалось більша втомленість, зниження концентрації уваги.

У роботі [26] було розглянуто застосування навушників з маскуючим шумом, і хоча такий спосіб дозволив підвищити концентрацію в деяких випадках, але був признано неефективним.

У роботах [27, 28] автори досліджували рівні шуму у офісних приміщеннях, але не запропонували шляхи вирішення проблеми. Автори [29] дослідили акустичні властивості офісу типу «Open space» та зробили висновки, що для підвищення акустичного комфорту слід використовувати перегородки та звукопоглинаюче облицювання стелі.

Виконаний аналіз дозволяє визначити недостатній рівень наукових досліджень щодо визначення проблеми захисту працівників офісів ОС від впливу акустичного навантаження на протязі робочого дня. Це пов'язано з тим, що проектування перегородок у таких приміщеннях, як правило, виконують не фахівці будівельники, а самі власники приміщень за рекомендаціями продавців огорожувальних конструкцій. Результатом таких впроваджень, є низький ефект від встановлених перегородок. При проектуванні перегородок треба враховувати настанову з розрахунку та проектування звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків (ДСТУ-Н Б В.1.1-34:2013) [30]. У виконаних дослідженнях головним питанням було виявлення вже встановлених перегородок, які відповідають вимогам ДСТУ, на шум у офісному приміщенні.

### 3. Ціль та задачі дослідження

Метою дослідження було встановлення залежності рівня шуму у приміщеннях типу «Open Space» (далі «OS») від матеріалу та ступеня перекриття приміщення по висоті перегородками. Це надасть можливість визначити відповідність утворених перегородками функціональних робочих зон, стосовно виробничих завдань.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розподілити перегородки у відповідності до вимог, щодо зменшення шуму у робочих зонах за робочими завданнями, які повинні виконуватись;
- зробити аналіз можливості зменшення шуму у приміщеннях, локалізуючи приміщення або робочі зони із джерелом шуму, застосовуючи перегородки;
- оцінити розповсюдження шуму при різному стану отворів у перегородках (двері, вентиляційні отвори) у приміщеннях при його перекритті на 100 % по висоті та менш;
- зробити порівняльний аналіз розповсюдження шуму у приміщенні без перегородок та з перегородками.

### 4. Матеріали та методи дослідження впливу встановлених перегородок на шум у робочих зонах приміщення

#### 4. 1. Прилади та обладнання, що використовувались під час дослідження шуму

Вимірювання шуму в октавних смугах або рівня шуму проводилось за допомогою шумоміру ВШВ003 – вимірювач шуму і вібрації, який відповідає діючим вимогам Держстандарту України (рис. 2).



Рис. 2. Вимірювач шуму і вібрації ВШВ003 (ПО "Виброприбор")

Норми шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [14] та американським електронним довідником «Оцінка впливу на здоров'я – UCLA (UCLA-

НІА) [31]. Параметрами постійного шуму на робочих місцях, що нормуються, є рівні звукових тисків в октавних смугах з середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц в децибелах. Для орієнтовної гігієнічної оцінки параметрів постійного широкосмужного шуму на робочих місцях, що нормується, дозволяється за характеристику постійного шуму приймати рівень звуку в дБА. Корегування полягає у введенні поправок до рівнів звукового тиску в залежності від частоти. Коригований рівень звукового тиску дорівнює:

$$L_A = L - \Delta L_A, \quad (1)$$

де  $L$  – значення загального рівня шуму;  $\Delta L_A$  – корекція, дБ.

Корегування необхідне, для наближення результатів об'єктивних вимірювань до суб'єктивного сприйняття шуму людиною. Стандартні значення коригування наведені у табл. 1.

Таблиця 1  
Стандартні значення коригування

Частота, Гц	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\Delta L$ , дБ	80	42	26,3	16,1	8,6	3,2	0	-1,2	-1,0	-1,1

У табл. 1 виділено сірим кольором діапазони частот (250–2000, Гц), які найбільш характерні у офісах типу «OS», що підтверджено виконаними дослідженнями.

#### 4. 2. Методика вимірювання параметрів шуму

Порядок вимірювання рівнів звуку шумомірами та розрахунок еквівалентного рівня робили відповідно до регламенту ДСН 3.3.6.037-99.

При проведенні вимірювань мікрофон розташовували на висоті 1,5 м над рівнем підлоги чи робочого майданчика. Мікрофон був зорієнтований у напрямку максимального рівня шуму та віддалений не менш ніж на 0,5 м від оператора, який проводить вимірювання. При проведенні вимірювань октавних рівнів звукового тиску перемикач частотної характеристики пристрою встановлювали в положення “фільтр”. Октавні рівні звукового тиску вимірювали у смугах з середньгеометричними частотами 31,5–8000 Гц.

При проведенні вимірювань рівнів звуку, дБА перемикач частотної характеристики пристрою встановлювали у положенні “А” (за допомогою відповідних фільтрів, де знижена чутливість на низьких та високих частотах).

План приміщення “OS” із сіткою точок вимірювання шуму та по значенням перегородок наведено на рис. 3. Відстань між лініями 3,5 м, що дорівнює частоті 1155 Гц  $\approx$  1200 Гц, яка відповідає частоті джерела звуку (шуму) у дослідженнях.



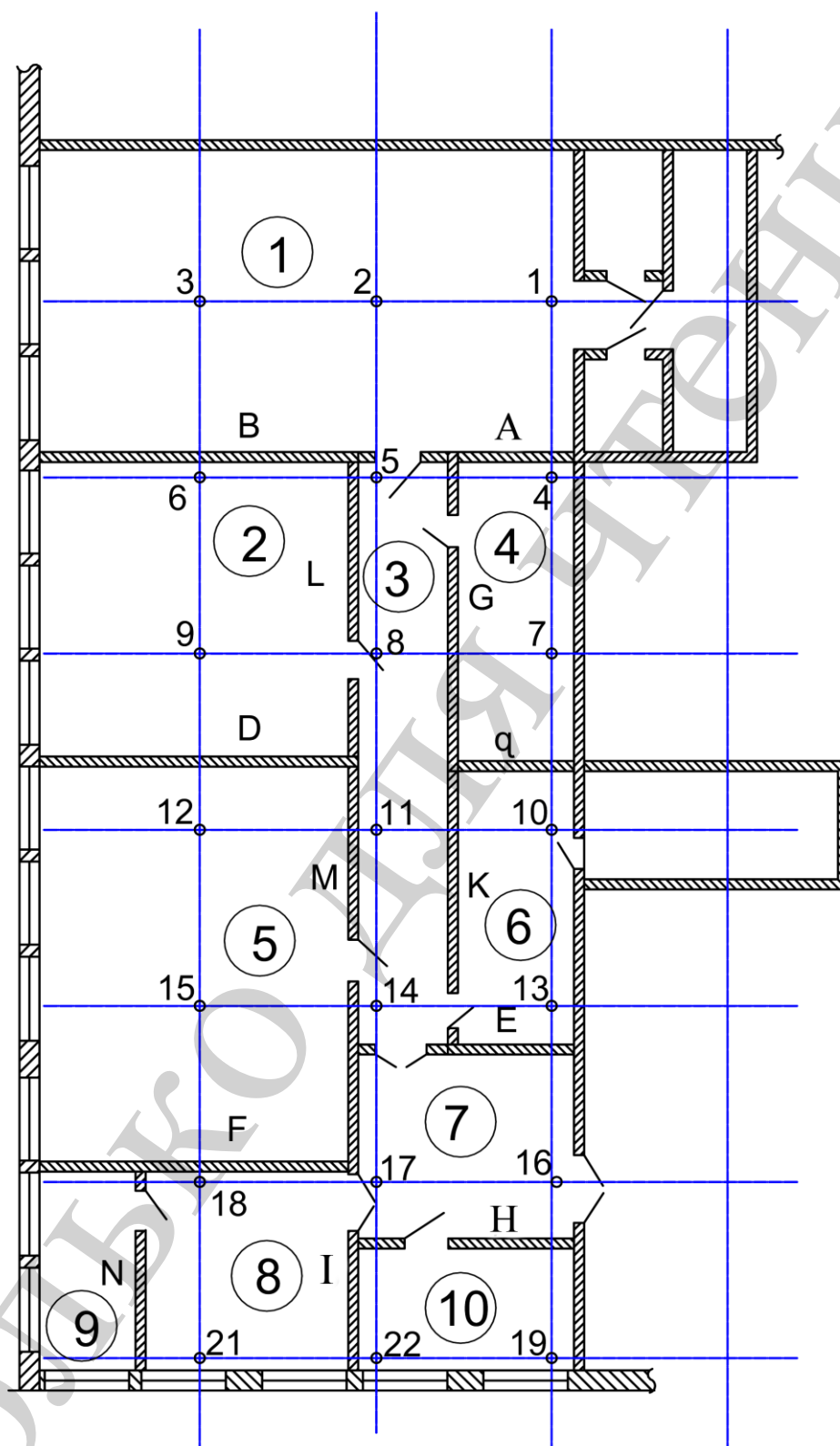


Рис. 3. План офісу "Open Space" із сіткою точок вимірювання, позначенням перегородок (табл. 2) та відокремлених зон дослідження



Джерело шуму – електричний дзвоник, який змонтовано на дерев'яній плиті із вимикачем та електричним дротом підключення до електричної мережі (рис. 4).

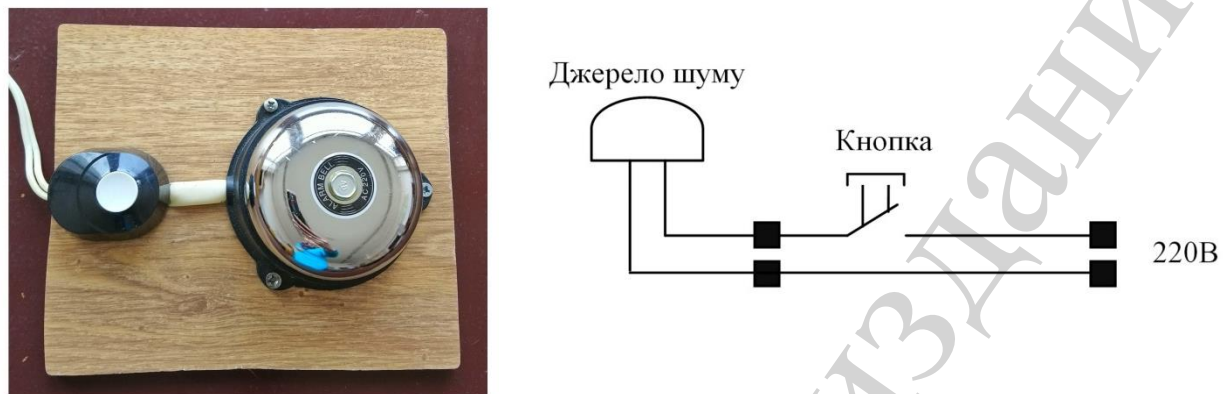


Рис. 4. Зовнішній вигляд та схема джерела шуму

При дослідженні вимірювались еквівалентні рівні шуму, які мають коливання у часі. Тому для визначення еквівалентного (за енергією) рівня шуму перемикач часової характеристики пристрою був у положенні “повільно”. Значення рівнів шуму приймали за показниками стрілки пристрою у момент відліку.

При проведенні вимірювань максимальних рівнів імпульсного шуму перемикач часової характеристики пристрою встановлювали у положення "імпульс". Значення рівнів приймали за максимальним показником пристрою.

Вимірювання шуму проводились у зонах, утворених перегородками згідно рис. 3. Характеристики перегородок наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Умовне позначення та опис перегородок у приміщенні “OS”

Позначення на схемі	Опис перегородки	
А	Комбінована: 2 шари керамічних плит (87,5 % ступень покриття (с.п)), оргскло (13 % с.п.)	Комбінована перегородка до стелі: керамічна плита висотою 3,15 м, органічне скло висотою 0,35 м (розташоване вище)
В	2 шари керамічних плит (100 % с.п. )	Керамічна плита до стелі
С	2 шари керамічних плит (87,5 % с.п. )	Керамічна плита висотою 3,15м. Загальна висота стелі 3,60 м
Д	2 шари керамічних плит	Керамічна плита до стелі

	(100 % с.п. )	
Е	2 шари керамічних плит (100 % с.п.)	Керамічна плита до стелі
ґ	Скляні трубки (100 % с.п.)	Скляні трубки з гумовим ущільнювачем висотою до стелі
Г	Скляні трубки (60 % с.п. )	Скляні трубки з гумовим ущільнювачем висотою 2,10 м. Загальна висота стелі 3,60 м
Н	Скляні трубки (100 % с.п. )	Скляні трубки з гумовим ущільнювачем висотою до стелі
І	Комбінована: 2 шари керамічних плит (86 % с.п), органічне скло (14 % с.п.)	Комбінована перегородка до стелі: керамічна плита висотою 3,10 м, органічне скло висотою 0,50 м (розташоване вище)
К	Скляні трубки (60 % с.п. )	Скляні трубки з гумовим ущільнювачем висотою 2,10 м
Л	Комбінована: 2 шари керамічних плит (88 % с.п), Пінопластові плити з двома шарами паперу (12 % с.п.)	Комбінована перегородка до стелі: 2 шару керамічних плит, висотою 3,15 м; пінопластові плити, з обох сторін вкриті папером 0,45 м висотою, розташований вище керамічних плит
М	Комбінована: 2 шари керамічних плит (88 % с.п), Пінопластові плити з двома шарами паперу (12 % с.п.)	Комбінована перегородка до стелі: 2 шару керамічних плит, висотою 3,15 м; пінопластові плити, з обох сторін вкриті папером 0,45 м висотою, розташований вище керамічних плит
Н	Скляні трубки (100 % с.п. )	Скляні трубки з гумовим ущільнювачем висотою до стелі

Тривалість вимірювання непостійного шуму:

- для шуму, що коливається у часі, вимірювання складались з трьох циклів, по 10 хв. кожний;
- для імпульсного шуму тривалість вимірювання – 30 хвилин. Дані по плануванню експерименту наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Планування експериментів з дослідження шуму у приміщенні “OS”

Номер експерименту	Дверні прийоми у перегородках	Вентиляція	Номер точки, де знаходиться джерело шуму у зоні 1
1	закриті	відкрита	1
2	відкриті	відкрита	1
3	відкриті	Наполовину закрита	1
4	закриті	Наполовину закриті	1
5	відкриті	Наполовину закриті	2
6	закриті	Наполовину закриті	2
7	відкриті	закрита	1
8	закриті	закрита	1
9	відкриті	закрита	2
10	закриті	закрита	2

Виходячи з плану експерименту, варіювалися місце знаходження джерела шуму, наявність технологічних отворів у перегородках, матеріал перегородок та ступінь перекриття перегородкою робочого простору.

#### 5. Результати досліджень шуму у приміщеннях типу «Open space» у експериментах

*Дослідження шуму у приміщенні “OS” у відокремлених перегородками зонах (експеримент 1).*

Джерело шуму (електричний дзвоник) знаходилося у точці № 1 (рис. 4). Всі двері у перегородках були *закриті*, вентиляція *відкрита* (табл. 3). У табл. 4 та 5 наведені рівні шуму у точках вимірювання.

Досліджувався шум вздовж фронтального розташування перегородок відносно джерела шуму.

Ступень перекриття ( $\phi$ , %) приміщення (табл. 4) перегородкою по висоті розраховувалась по формулі

$$\phi = 100 \cdot h_1 / h_2, \quad (2)$$

де  $h_1$  – висота приміщення, м;  $h_2$  – висота перегородки, м,  
100 – відсотки, %.

Різниця рівнів шуму ( $\Delta$ , дБА) згідно точок вимірів (рис. 2),  $\Delta = L_1 - L_i$ , де  $L_1$  – рівень шуму у точці 1 (джерело шуму),  $L_i$  – рівень шуму у точці виміру.

Коефіцієнт затихання шуму, визначали за формулою:

$$\beta = \Delta / L_1, \quad (3)$$

де  $L_1$  – рівень шуму у точці 1 (джерело шуму).

У відсотках коефіцієнт  $\beta$ , приймає наступний вигляд показника  $\theta$  (%) за наступним виразом

$$\theta = \Delta \cdot 100 / L_1. \quad (4)$$

Таблиця 4  
Результати дослідження у точках виміру у експерименті 1

Перегородки	Номер точки, де вимірювався рівень шуму, і	Фоновий шум у точці вимірювання, дБА	Рівень шуму, виміряний у відповідній точці $L_i$ , дБА	Різниця рівня шуму біля джерела шуму та у заданій точці, $\Delta_i$ , дБА	$\theta$ , %
–	1	32	98	0	0,0
–	2	35	77	21	21,4
–	3	35	76,5	21,5	21,9
A	4	31	56,5	41,5	42,3
B	5	32	56	42	42,9
B	6	32	53	45	45,9
A	7	32	57	41	41,8
B	8	33	55	43	43,9
B	9	32	47	51	52,0
A+C	10	35	49	49	50,0
B	11	33	49	49	50,0
B+D	12	30	34	64	65,3
A+C	13	33	49,5	48,5	49,5
B	14	32	47	51	52,0
B+D	15	30	35	63	64,3
A+C+E	16	30	30	68	69,4
B+E	17	30	31	67	68,4
B+D+F	18	27	28	70	71,4
A+C+E+H	19	27	27	71	72,4
A+C+E+H	20	27	27	71	72,4
B+D+F	21	27	27	71	72,4

У експерименті № 2 всі двері у перегородках були *відкриті*, вентиляція *відкрита* (табл. 3). Фоновий шум точках вимірювання 1–3 дорівнював 37 дБА, у точках 4 та 5 – 32 дБА, у всіх інших 30–31 дБА.

У експерименті № 3 всі двері у перегородках були *відкриті*, вентиляція *відкрита на половину*. Фоновий шум точках вимірювання 1–3 дорівнював 31–32 дБА, у точках 4 та 5 – 29 дБА, у всіх інших однаковий, 28 дБА.

У експерименті № 4 всі двері у перегородках були *закриті*, вентиляція *відкрита на половину*. Фоновий шум точках вимірювання 1–3 дорівнював 31 – 32 дБА, у точках 4 та 5 – 29 дБА, у всіх інших однаковий, 28 дБА.

У експерименті № 7 всі двері у перегородках були *відкриті*, вентиляція *зачинена* (табл. 3). Фоновий шум точках вимірювання однаковий, 28 дБА.

У експерименті № 8 всі двері у перегородках були *зачинено*, вентиляція *зачинена* (табл. 3). Фоновий шум точках вимірювання однаковий, 28 дБА.

Таблиця 5

Результати дослідження шуму у *точці 1*

Номер <i>i</i> -ї точки, де вимірювався рівень шуму, <i>n</i>	$\theta$ , %				
	№ експериментів згідно табл. 3				
	2	3	4	7	8
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	11,7	19,8	11,6	19,3	10,7
3	12,8	24,0	11,6	23,2	11,2
4	25,5	39,6	37,2	43,5	38,5
5	23,5	29,2	36,0	24,6	39,0
6	37,8	51,0	47,7	49,3	49,2
7	25,5	40,6	38,4	43,5	40,1
8	25,5	35,4	38,4	34,8	41,7
9	37,8	50,0	50,0	49,8	50,3
10	24,5	44,8	47,7	47,3	48,7
11	26,5	38,5	40,7	43,0	43,3
12	46,9	56,3	61,6	58,0	60,4
13	21,9	42,2	47,7	47,3	48,7
14	21,9	42,7	41,9	44,9	47,1
15	46,9	56,3	65,1	58,0	61,5
16	48,0	53,1	66,3	56,5	64,7
17	44,9	51,0	65,1	52,7	63,6
18	58,2	62,5	68,6	66,2	69,0
19	54,1	63,0	67,4	62,3	69,0
20	55,1	61,5	67,4	62,3	69,0
21	58,2	63,5	68,6	65,7	69,0

У табл. 6 наведені рівні шуму у точках вимірювання у експериментах 5, 6, 9 та 10. На рис. 2 вказані точки вимірювання. Джерело шуму знаходилося у точці 2.

У експерименті № 5 всі двері у перегородках були *відкриті*, вентиляція *відкрита на половину*. Фоновий шум точках вимірювання 1–3 дорівнював 31–32 дБА, у точках 4 та 5 – 29 дБА, у всіх інших однаковий – 28 дБА.

Таблиця 6  
Результати дослідження у точках виміру

Номер <i>i</i> -ї точки, де вимірювався рівень шуму, <i>n</i>	$\theta$ , %			
	№ експериментів згідно табл. 3			
	5	6	9	10
1	25,7	11,6	19,1	14,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	26,2	11,6	18,1	13,0
4	42,2	37,2	41,7	42,0
5	36,9	36,0	29,4	41,5
6	49,5	46,5	49,0	52,3
7	42,2	38,4	34,3	42,5
8	39,8	39,5	33,8	44,0
9	49,0	48,8	49,0	52,8
10	46,6	48,8	46,1	52,3
11	40,3	41,9	34,3	48,7
12	58,7	61,6	57,8	66,3
13	45,6	47,7	45,1	51,3
14	45,6	45,3	44,1	49,7
15	58,2	65,1	57,8	66,8
16	56,8	67,4	54,9	67,9
17	56,8	66,3	52,0	67,9
18	64,9	67,4	63,7	69,9
19	64,1	67,4	61,8	71,0
20	64,1	67,4	59,3	71,0
21	64,3	68,6	63,7	69,9

У експерименті № 6 всі двері у перегородках були *закриті*, вентиляція *відкрита на половину*. Фоновий шум точках вимірювання 1–3 дорівнював 31–32 дБА, у точках 4 та 5 – 29 дБА, у всіх інших однаковий, 28 дБА.

У експерименті № 9 всі двері у перегородках були *відкриті*, вентиляція *зачинена*. Фоновий шум точках вимірювання однаковий, 28 дБА.

У експерименті № 10 всі двері у перегородках були *зачинені*, вентиляція *зачинена*. Фоновий шум точках вимірювання однаковий, 28 дБА.

*Визначення звукопровідності перегородок.*

На рис. 5 наведено розподіл показників шуму у приміщені «OS».

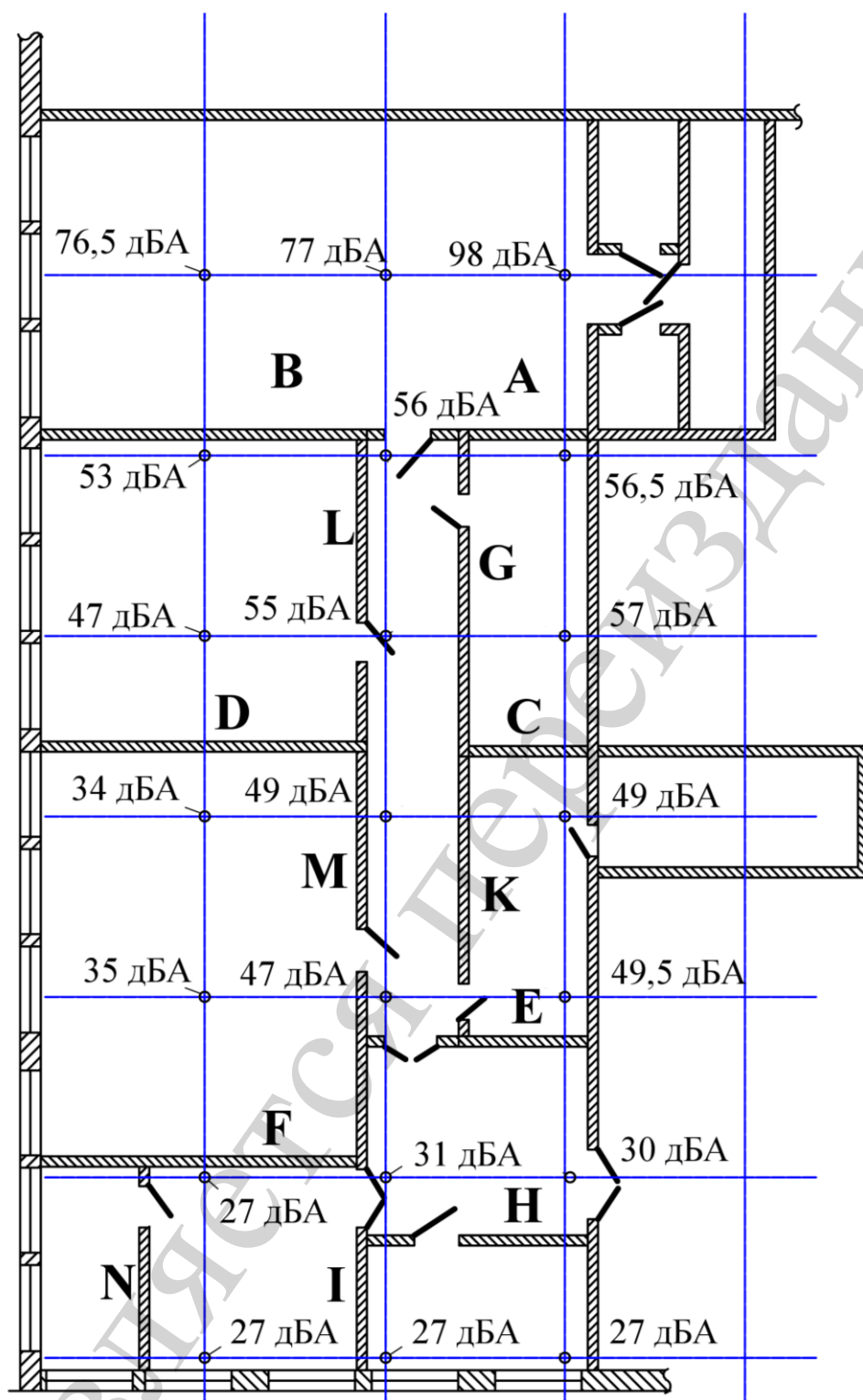


Рис. 5. Розподіл показників шуму за шкалою А у офісі “OS”

У табл. 7 наведено розрахунок коефіцієнта звукопровідності перегородок  $\alpha_k = (L_i - L_j) / L_i$  у відповідних зонах приміщень, згідно розташування перегородок.



Таблиця 7

Розрахунок коефіцієнта звукопровідності перегородок

Позначення перегородки (ступень перекриття)	Номер точки, де вимірювався рівень шуму, $i$	Рівень шуму від джерела шуму виміряний у відповідній точці $L_i$ , дБА	Номер точки, де вимірювався рівень шуму, $j$	Рівень шуму від джерела шуму виміряний у відповідній точці $L_j$ , дБА	$L_i - L_j$	$\alpha_k$
Звук розповсюджується фронтально до перегородки						
А (75 %)	1	98	4	56,5	41,5	0,42
	2	77	5	56	21	0,27
В (100 %)	3	76,5	6	53	23,5	0,31
Д (100 %)	9	47	12	34	13	0,28
С (75 %)	7	57	10	49	8	0,14
Е (100 %)	13	49,5	16	30	19,5	0,39
Ф (100 %), скло	15	35	18	28	7	0,20
Н (100 %), скло	16	30	19	27	3	0,10
Звук розповсюджується паралельно перегородки						
L (100 %)	5	56	6	53	3	0,05
	8	55	9	47	8	0,15
G (75 %), скло	4	56,5	5	56	0,5	0,01
	7	57	8	55	2	0,04
К (75 %), скло	10	49,5	11	49	0,5	0,01
	13	49,5	14	47	2,5	0,05
М (100 %)	11	49	12	34	15	0,31
	14	47	15	35	12	0,26
I (100 %)	17	31	18	28	3	0,10
	20	27,5	21	27	0,5	0,01

У табл. 8 наведені данні вимірів коефіцієнта  $\alpha$  на відстані 1 метр до перегородки (джерело шуму  $L_1$ ) та 1 метр за перегородкою,  $L_2$  (зроблено водночас).

Таблиця 8

Результати вимірів коефіцієнту  $\alpha$  безпосередньо кожної з перегородок

Позначення перегородки	Опис перегородки	$\phi$ , %	$L_1$ , дБА	$L_2$ , дБА	$\Delta=L_1-L_2$ , дБА	$\alpha$
A	Комбінована: 2 шари керамічних плит (87,5 % ступень перекриття (с.п)), пінопластові плити (13 % с.п.)	100	98	55,7	42,3	0,43
B	2 шари керамічних плит (100 % с.п.)	100	98	48,3	49,7	0,51
L	Комбінована: 2 шари керамічних плит (88 % с.п), пінопластові плити з двома шарами паперу + вставки орг.скла (12 % с.п.)	100	98	56,7	41,3	0,42
G	Скляні трубки (60 % с.п.)	60	98	76	22	0,22
K	Скляні трубки (60 % с.п.)	60	98	78	20	0,20
M	Комбінована: 2 шари керамічних плит (88 % с.п), пінопластові плити з двома шарами паперу (12 % с.п.)	100	98	44,7	53,3	0,54
F	Скляні трубки (100 % с.п.)	100	98	54,8	43,2	0,44
H	Скляні трубки (100 % с.п.)	10	98	63,6	34,4	0,35
I	Комбінована: 2 шари керамічних плит (86 % с.п), органічне скло (14 % с.п.)	100	98	54,5	43,5	0,44
E	2 шари керамічних плит (100 % с.п.)	100	98	53,8	44,2	0,45

У табл. 7 наведено значення коефіцієнту звукоізоляції перегородок при двох варіантах розповсюдження шуму. У першому випадку – шум діє фронтально, тобто джерело шуму розташовано попереду перегородки. У другому випадку шум розповсюджується по простору, який має обмеження по бокам, де

розміщені перегородки (паралельно до перегородок). ефективність мають перегородки виконані із керамічного матеріалу, і дуже низькі із скла. Експеримент має значні похибки через значні фонові впливи фронтального тиску звуку, а тому було виконано експеримент із безпосереднім дослідженням звукоізоляційних властивостей шуму на конкретну перегородку, які представлені у табл. 8. З табл. 8 можна зробити висновок, що при фронтальному впливу шуму на перегородку, найбільш ефективними перегородками для зменшення шуму є комбінована перегородка з двох шарів керамічного матеріалу, у яку, припустимо, додавати пінопластові плити ( $\alpha=0,43-0,54$ ).

На рис. 6 показано залежність коефіцієнта  $\alpha$  від ступеня перекриття ( $\phi$ ) приміщення різними перегородками.

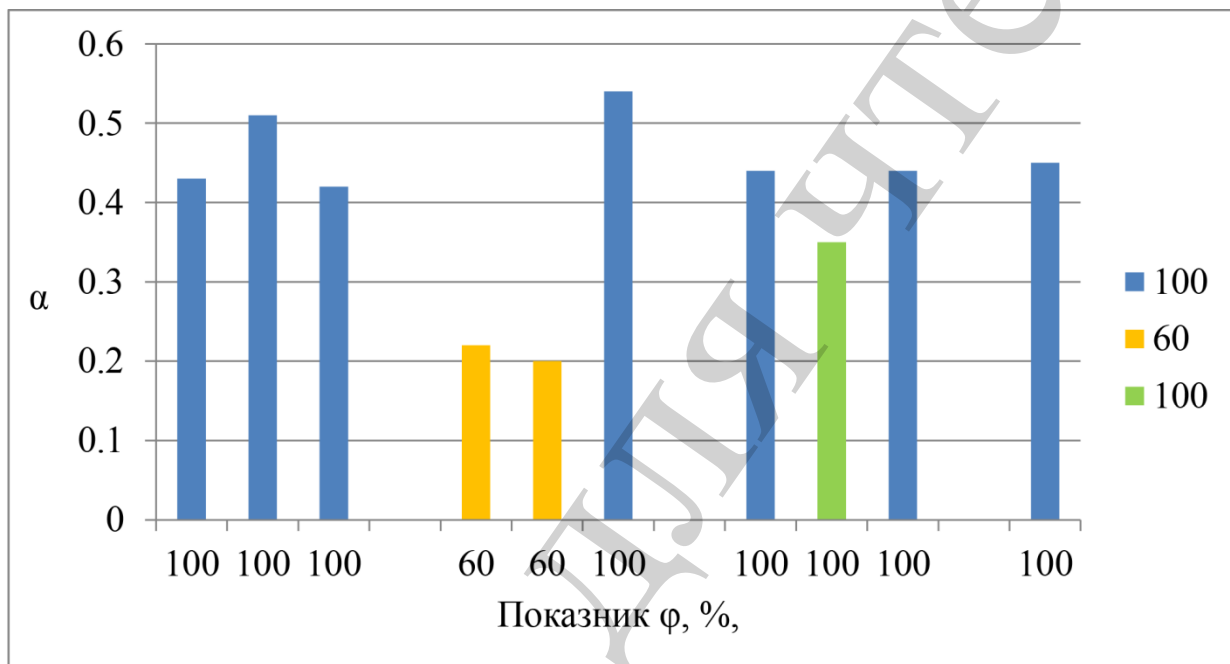


Рис. 6. Залежність коефіцієнта  $\alpha$  від ступеня перекриття ( $\phi$ ,%) приміщення різними перегородками: ■ – перегородки з керамічних плит (два шари), ■ – скляні перегородки (скляні трубки,  $\phi=60\%$ ), ■ – скляні перегородки (скляні трубки,  $\phi=100\%$ )

Розповсюдження звукових хвиль по 3 напрямам (рис. 3) на відстані 21 м від джерела шуму, через перегородки:

- перегородка умовна (коридор з відкритими дверима);
- через 3 перегородки (100 % перекриття);
- через 3 перегородки, які комбіновані за висотою (одна 100 %, дві 75 %).

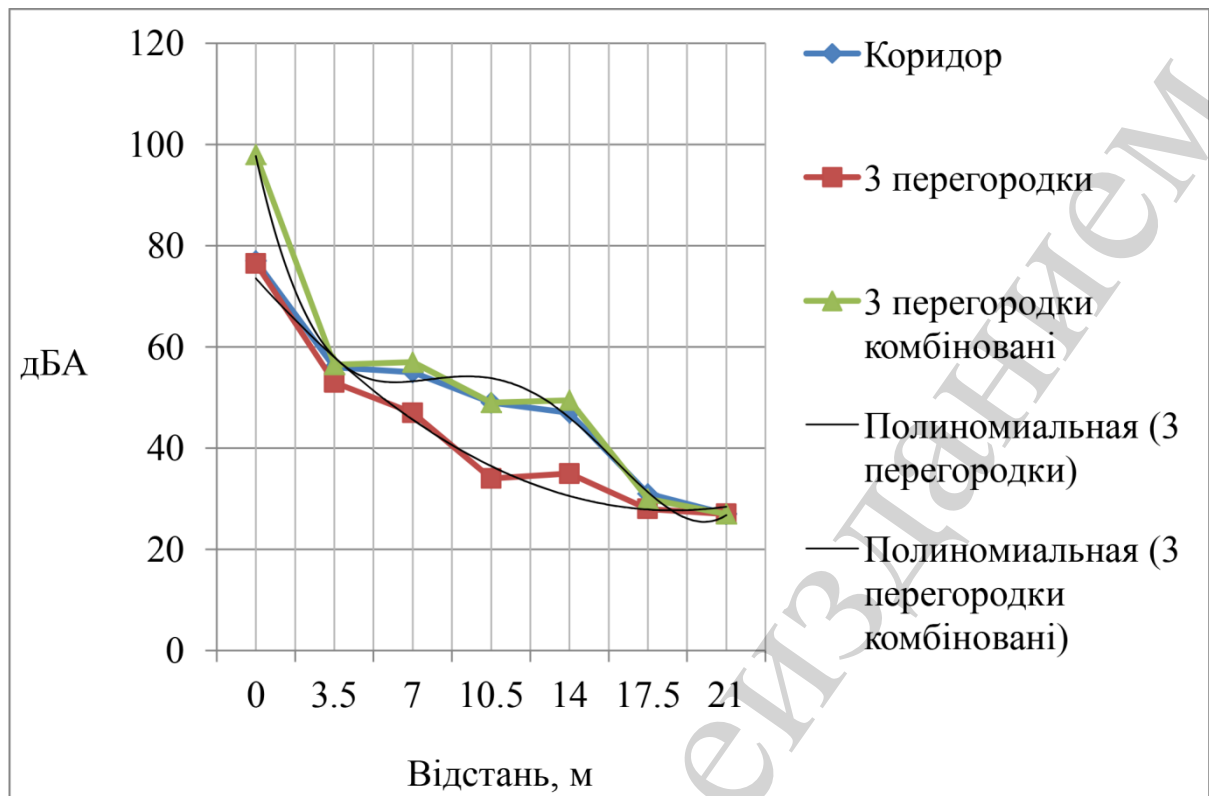


Рис. 7. Залежність розповсюдження шуму по умовним трьом напрямкам

Отримані поліноміальні залежності описуються трендами із імовірністю  $R^2=0,96-0,98$ :

– коридор та 3 перегородки комбіновані:

$$y=0,6439x^4-11,331x^3+69,292x^2-177,88x+217, \quad (5)$$

– 3 перегородки:

$$y=1,6131x^2-20,423x+92,357, \quad (6)$$

де  $x$  – відстань до точки виміру від джерела шуму, м;  $y$  – рівень шуму у точці виміру, дБА.

Аналізуючи отримані результати, можна відзначити, що на відстані 7 та 14 метрів відбулось підвищення шуму, джерелом якого були відкриті двері у перегородках що виходили до коридору. У варіанті із 3-ома перегородками, також були підвищення шуму у цих точках, але не значні.

На рис. 8 наведено графічне уявлення результатів вимірювання шуму у експериментах, коли джерело шуму знаходилось у точці 1.

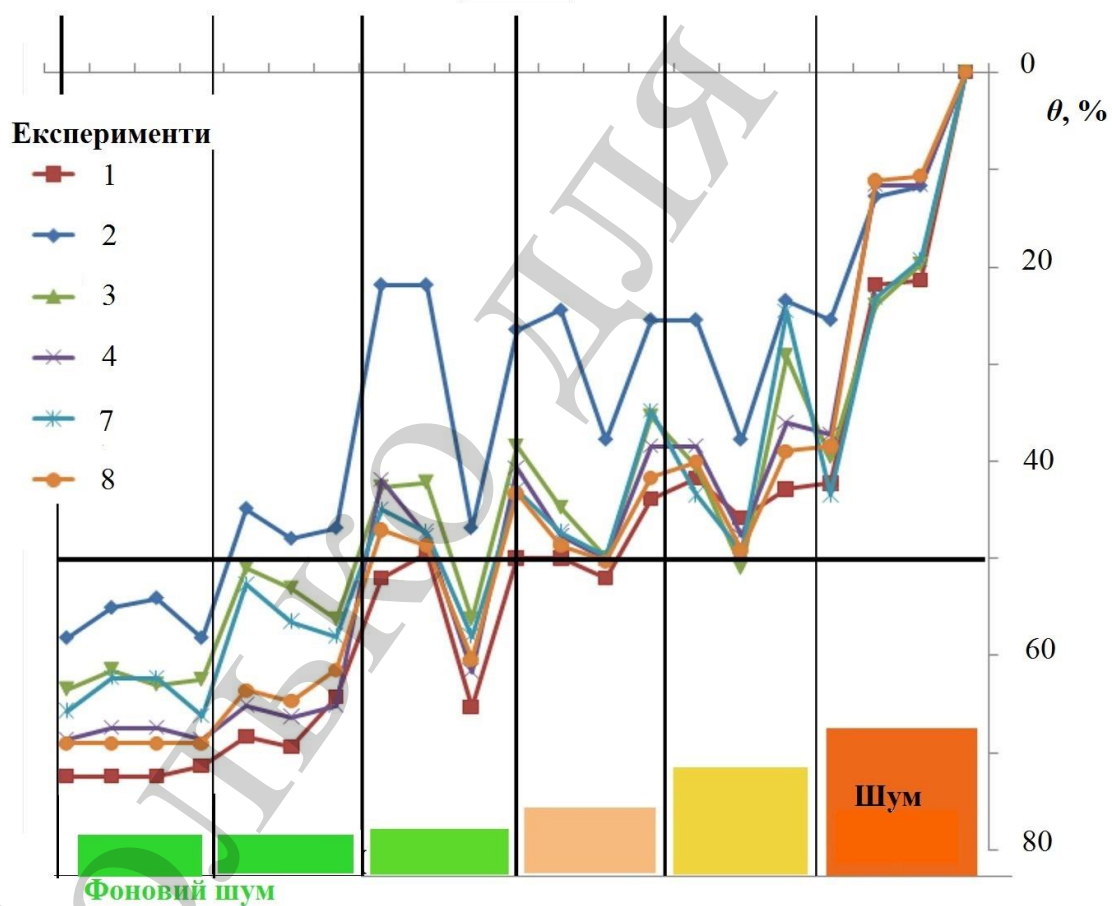
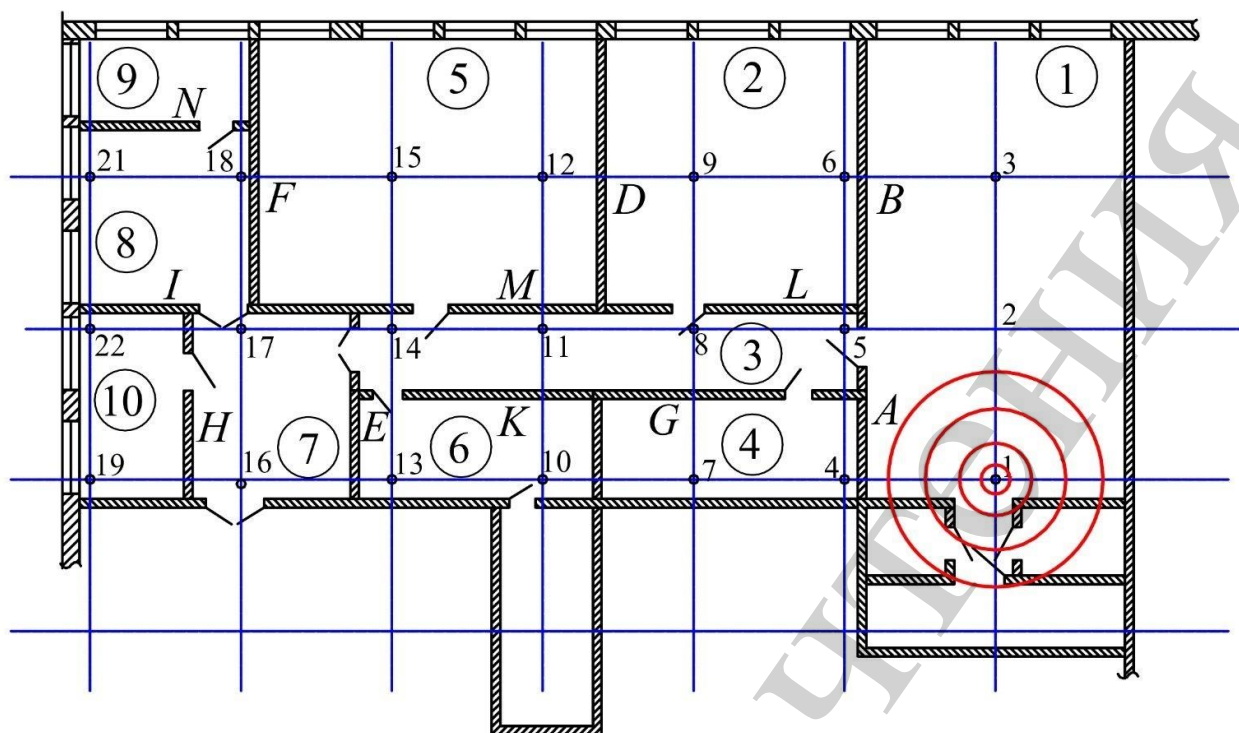


Рис. 8. Криві за результатами вимірювання шуму у експериментах, коли джерело шуму знаходилось у точці 1

Згідно отриманим кривим, можна зробити висновок, що найменш перегородки впливають на рівень шуму у приміщенні офісу типу «OS», коли *відкриті* двері та вентиляційні отвори (експеримент 2).

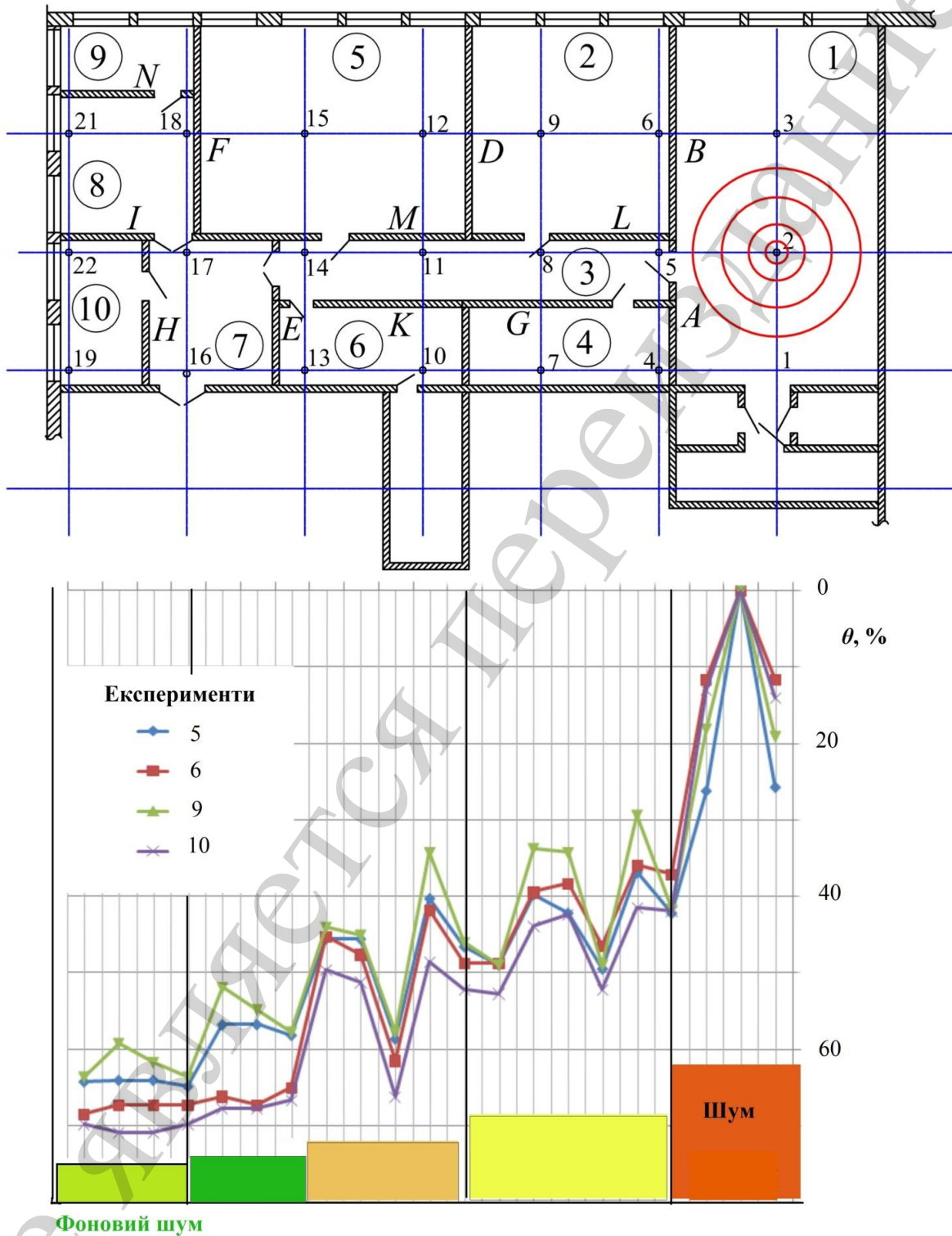


Рис. 9. Криві за результатами вимірювання шуму у експериментах, коли джерело шуму знаходилось у точці 2

На рис. 10 наведено зведені результати досліджень у вигляді кривих, які із вірогідністю  $R^2$  у інтервалі значень від 8,0 (експеримент 9) до 9,5 (експеримент 1) описують кривими тренда залежності впливу на шум перегородок у офісі типу «OS».

Загальна залежність впливу перегородок на шум, у експериментах практично однаково описується поліномами 5–6 порядку які наведено у табл. 7. Пікові значення коефіцієнтів звукоізоляції (%), які відбито на рис. 3–5, характеризують найкращі рівні звукоізоляції, і навпаки, ті що знаходяться у нижчих точках, характеризують відкриті двері, вентиляційні отвори, погані звукоізолюючі властивості перегородок. Так, точка 5 – це отвір (двері) у перегородці і видно, що її положення суттєво впливає на розповсюдження шуму у приміщенні, бо вона найближча до джерела шуму. Точки 4, 7, 10 та 13 розташовані вдовж вентиляційних отворів і ефективність звукоізоляції нижча.

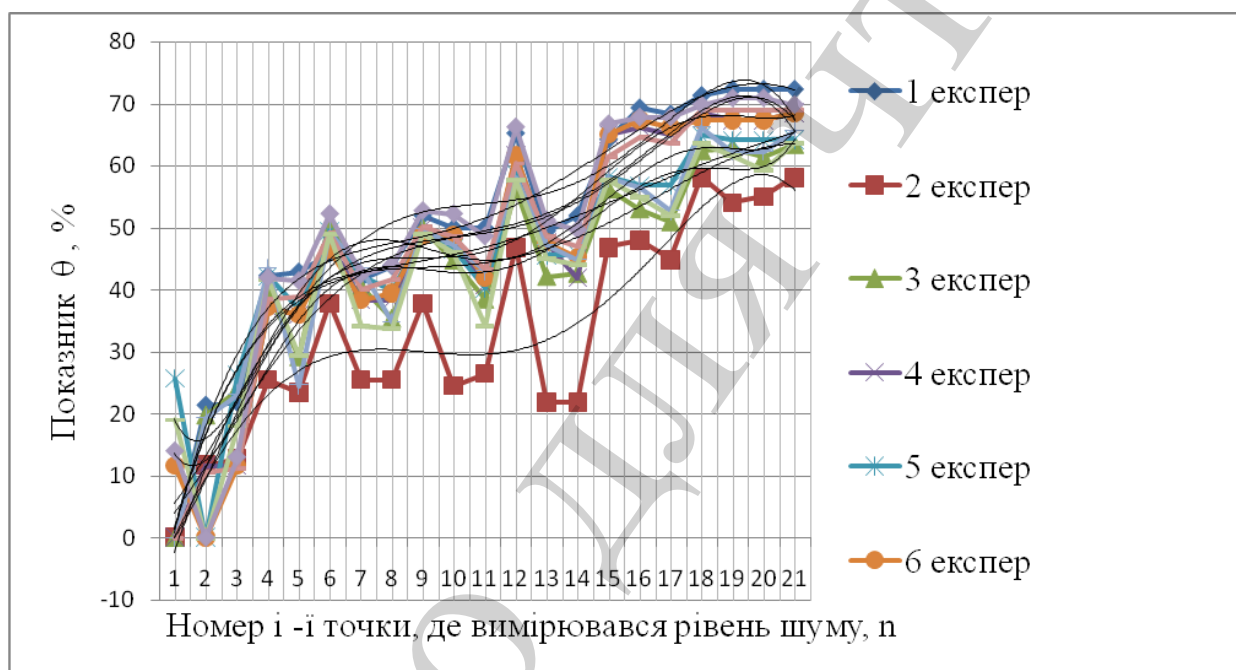


Рис. 10. Криві розподілу шуму у приміщенні типу «Open space» із перегородками

У табл. 9 наведено відповідно до експериментів поліноміальні залежності трендів кривих шуму.

Таблиця 9  
Поліноміальні залежності трендів кривих шуму

Номер експерименту вимірювання рівня шуму, №	Поліноміальні залежності трендів кривих шуму	Показник $R^2$
1	$y=0,0001x^5-0,0103x^4+0,3179x^3-4,3197x^2+27,801x-23,006$	0,95
2	$y=-0,0003x^5+0,0106x^4-0,1008x^3-0,5658x^2+11,772x-11,038$	0,83
3	$y=4E-05x^5-0,0056x^4+0,2137x^3-3,372x^2+23,794x-19,23$	0,88



4	$y=7E-05x^6-0,0045x^5+0,1136x^4-1,3051x^3+6,1484x^2-1,6415x-3,3493$	0,91
5	$y=0,0001x^6-0,0079x^5+0,2133x^4-2,7154x^3+16,268x^2-35,942x+41,468$	0,83
6	$y=-0,0004x^5+0,019x^4-0,3096x^3+1,6459x^2+4,3919x-1,6866$	0,89
7	$y=0,0001x^5-0,0106x^4+0,2973x^3-3,8886x^2+24,887x-19,945$	0,87
8	$y=-0,0002x^5+0,0086x^4-0,0649x^3-1,0082x^2+16,835x-18,161$	0,93
9	$y=0,0001x^6-0,0071x^5+0,1879x^4-2,3499x^3+13,789x^2-28,744x+30,816$	0,81
10	$y=-0,0005x^5+0,024x^4-0,4075x^3+2,3838x^2+2,9438x+0,6249$	0,88

Акустичні характеристики шуму мають логарифмічні залежності, які використовуються у розрахунках за стандартом. Але у виконаних дослідженнях не змогли отримати тренди з логарифмічними показниками із високими  $R^2$ , тому було використано апроксимацію із найбільш високим  $R^2$ , якими були поліноміальні залежності 5 та 6 порядку. Якщо прибрати на рис. 10 двері та вентиляційні отвори, а це точки, які дали прогини кривих, то будемо мати практично вид близький до логарифмічної залежності.

#### *Шум у приміщенні де нема перегородок*

Було проведено дослідження розповсюдження шуму у аналогічному за усіма параметрами приміщенні, але без внутрішніх перегородок. Це дослідження проводилось для порівняння ефективності використання перегородок та з'ясування можливості реалізації того, про що йшла мова у дослідженні [32], коли рівень шуму треба знижувати до 50–51 (дБА). Цей інтервал було обрано, тому що при показниках вище, спостерігається більша втомленість та зниження концентрації уваги у працівників.

На рис. 11 наведено результати вимірів.

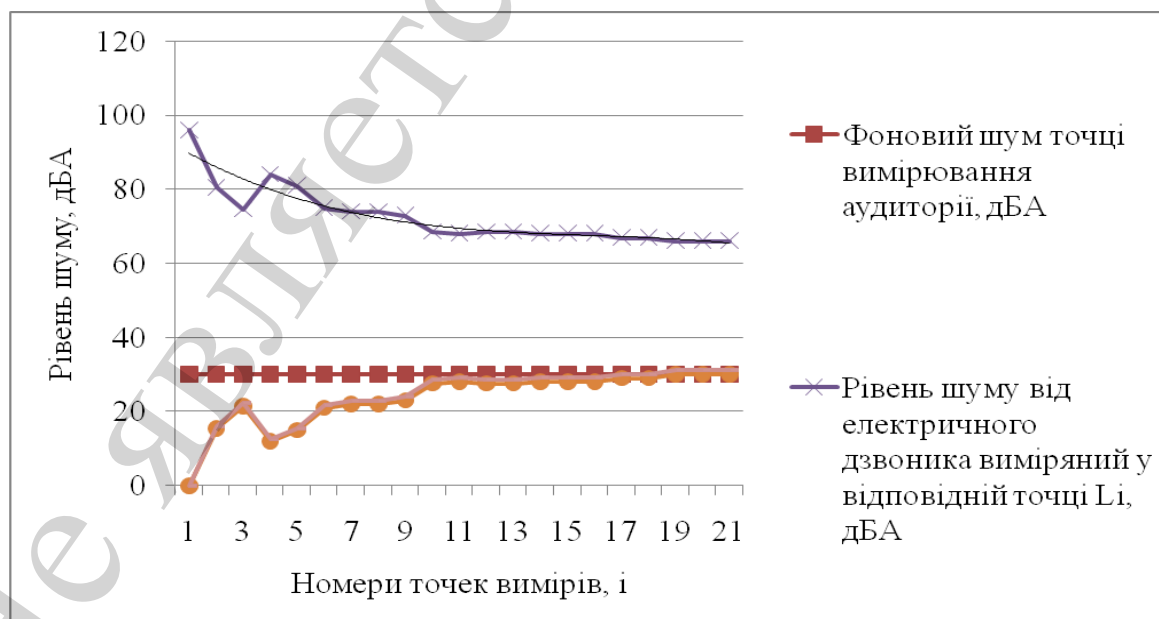


Рис. 11. Крива шуму у приміщенні де нема перегородок

Відповідно до експериментів поліноміальна залежність тренду кривої шуму у приміщенні, де нема перегородок, має наступний вигляд:

$$y = -0,0055x^3 + 0,2624x^2 - 4,4428x + 93,894. \quad (7)$$

Показник  $R^2=0,84$ . Згідно наведеної на рис. 9 кривій, можна зробити висновок, що на відстані точки 21, а це становить  $6 \cdot 3,5 = 21$  м, рівень шуму зменшується з 96 до 66 дБА, тобто на 30 дБА.

У варіанті із перегородками маємо таке зменшення на відстані 4–6 точці точок, після однієї перегородки, – на відстані біля 3–5 метрів.

## 6. Обговорення результатів дослідження

Дослідженнями було виявлено залежності рівня шуму у приміщеннях типу «Open Space» (далі “OS”) від матеріалу та ступеню перекриття приміщення по висоті перегородками. Це надало можливість визначити відповідність утворених перегородками функціональних робочих зон, виходячи з виробничих завдань. Тому у зоні 1 (рис. 3) було розташовано лабораторне обладнання із періодичними шумами до 100 дБА. У зонах 2, 3 та 4 були розташовані відповідно лаборантська (робота змінна), коридор та приміщення із офісною технікою, яка використовується періодично. Спочатку у зоні 2 було розташовано лабораторне обладнання, яке мало шум до 80 дБА, але після вимірів і виявлення впливу його на інші зони 5–10, його було перенесено у зону 1. Ефективна акустична ізоляція робочої зони 1, була досягнута завдяки застосуванню двошарових перегородок з керамічних плит та 100 % перекриття приміщення по висоті.

Аналіз можливості зменшення шуму у приміщеннях, локалізуючи приміщення або робочі зони із джерелом шуму, застосовуючи перегородки, показав, що локалізація шумів повинна відбуватись із урахуванням напрямку шуму від джерела, при цьому можливі не тільки фронтальні впливи але і бокові за рахунок відкритих отворів у перегородках та вентиляційних каналах (рис. 8 та рис. 9). Вони суттєво впливають на коефіцієнт затихання шуму та зменшують його.

Виявлення розповсюдження шуму при різному стану отворів у перегородках (двері, вентиляційні отвори тощо) у приміщеннях при його перекритті на 100 % по висоті та менш, дозволили зробити висновок, що додавання до існуючих перегородок у приміщенні із неповним перекриттям по висоті (75 %) але із густиною матеріалу більш  $2500 \text{ кг/м}^3$  (перекриття позначені на рис. 3 та табл. 2 номерами  $L$  та  $M$ ), іншого матеріалу, який забезпечує повне перекриття (густина до  $1000 \text{ кг/м}^3$ ) дозволяє підняти загальний ефект зменшення шуму до керамічних перегородок В та А (рис. 3). Тобто, зменшити шум на 30–40 дБА.

Порівняльний аналіз розповсюдження шуму у приміщенні без перегородок та з перегородками виявив, що перегородки мають суттєвий вплив на затухання шуму ( $\theta$  (4), %). Найкращий ефект досягається встановленням більш 2 перегородок поперек напрямку розповсюдження звукової хвилі відносно джерела шуму. Тому бажано, розміщати службові приміщення, відповідно до можливих джерел шуму за перегородками на відстані більш 3,5 м (рис.7).

Недоліком досліджень є обмеженість матеріалів перегородок що досліджувались у експерименті. Було використано три типи перегородок: важкі – керамічні плити (густина біля  $2500 \text{ кг/м}^3$ ), середні – скляні труби (густина біля  $1500 \text{ кг/м}^3$ ) та легкі – пінопластові (густина менш  $1000 \text{ кг/м}^3$ ). Обмеженість робочого простору та фінансові обмеження не дозволили провести дослідження на інших матеріалах.

Аналіз результатів досліджень виявив зменшення психоакустичного впливу на співробітників і ці результати надихають на продовження експерименту у цьому напрямку. Також було відзначено, що значно зменшується вплив на працівників шумів від працюючих комп'ютерів та офісної техніки, призначеної для друку.

У виконаних дослідженнях було отримано відповідь на питання виявлення у вже встановлених перегородок недоліків та доопрацювання їх відповідно до поставлених виробничих завдань у офісному приміщенні та існуючим санітарно-гігієнічним вимогам.

## **7. Висновки**

1. Встановлено, що показники шуму у робочих приміщеннях типу «Open space», залежать від типу перегородок та ступеня перекриття ними приміщення (робочої зони). Тому необхідно робити обґрунтований вибір перегородок в залежності від категорій праці та функціонального призначення. Якщо шум більше 80 дБА (частота звуку  $\approx 1000 \text{ Гц}$ ), то необхідно цю робочу зону офіса ізолювати важкими перегородками, виконаними з кераміки або цегли. Для робочих зон, де шум у приміщенні має коливання від 50 до 80 дБА (частота звуку  $\approx 200\div 500 \text{ Гц}$ ), необхідно встановлювати середні за важкістю перегородки із скла або дерева, задля приведення показників шуму до значень на рівні фону. Кращий ефект зменшення шуму отримано при 100 % перекритті перегородкою однієї робочої зони від іншої.

2. З метою ефективного та раціонального використання перегородок можна зменшити шум у приміщенні за рахунок використання важких перегородок локалізуючи зону із джерелом шуму. Для інших зон приміщення, де працюють люди, відокремлювати їх можна виходячи з функціональних особливостей праці з середніми за важкістю показниками. У цьому випадку перекриття приміщення по висоті повинно бути 75–100 %.

3. Рекомендуємо при розміщенні перегородок враховувати вентиляційні отвори, які з'єднують усі зони що відгороджуються, перекриття вікон тощо. Наявність таких отворів може звести нанівець захисні властивості перегородок. При перекритті перегородками приміщення на 100 % по висоті, необхідно виконати власні вентиляційні отвори або встановити кондиціонери (спліт системи), виходячи із розрахунків вентиляції приміщень, задля отримання метеорологічних параметрів відповідних виконуваної роботи.

4. Враховуючи необхідність оптимізації співвідношення ціни перегородок та виробничих завдань, необхідно застосовувати науковий підхід при проведенні аналізу акустичної ізоляції встановлених перегородок із застосуванням

накладання сітки на схему приміщення із відстанню між точками виміру, що відповідають лінії звукової хвилі у офісному приміщенні типу OS, а саме 3,5 м.

### Література

1. What is Noise Pollution? URL: <https://www.conserve-energy-future.com/causes-and-effects-of-noise-pollution.php>
2. Noise Pollution. URL: <https://www.dccae.gov.ie/en-ie/environment/topics/noise-pollution/Pages/Noise-Pollution.aspx>
3. Top 10 Ways to Reduce Noise in Your Open Office. URL: <https://parterreflooring.com/10-ways-to-reduce-office-noise/>
4. Noise pollution in offices is worsening and people are leaving jobs as a result. 2018. URL: <https://workplaceinsight.net/noise-pollution-in-offices-is-worsening-and-people-are-leaving-as-a-result/>
5. Workplace safety – noise pollution. URL: <https://www.betterhealth.vic.gov.au/health/healthyliving/workplace-safety-noise-pollution>
6. Studying the effect of multifunctional partitions on temperature indicators at offices of the open space type / Berezutskyi V., Berezutska N., Ilinska O., Raiko V. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 4, Issue 10 (84). P. 13–21. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-85139-862-4.50017-2>
7. Radun J., Hongisto V., Suokas M. Variables associated with wind turbine noise annoyance and sleep disturbance // Building and Environment. 2019. Vol. 150. P. 339–348. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.039>
8. Halperin D. Environmental noise and sleep disturbances: A threat to health? // Sleep Science. 2014. Vol. 7, Issue 4. P. 209–212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.slsci.2014.11.003>
9. Ecology of the cardiovascular system: Part II – A focus on non-air related pollutants / Argacha J. F., Mizukami T., Bourdrel T., Bind M.-A. // Trends in Cardiovascular Medicine. 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2018.09.003>
10. Louen C., Wehrens A., Vallée D. Analysis of the Effectiveness of Different Noise Reducing Measures Based on Individual Perception in Germany // Transportation Research Procedia. 2014. Vol. 4. P. 472–481. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.11.036>
11. Environmental Noise Guidelines for the European Region. WHO, 2018. 181 p. URL: <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>
12. Summary of ongoing activities on environmental noise and health at the WHO regional office for Europe / Héroux M. E. et. al. // Gigiena i sanitariia. 2014. Issue 5. P. 25–28.
13. Noise exposure of workers of the construction sector / Fernández M. D., Quintana S., Chavarria N., Ballesteros J. A. // Applied Acoustics. 2009. Vol. 70, Issue 5. P. 753–760. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.07.014>
14. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ, 1999. 34 с.

15. Benefits of quiet workspaces in open-plan offices – Evidence from two office relocations / Haapakangas A., Hongisto V., Varjo J., Lahtinen M. // *Journal of Environmental Psychology*. 2018. Vol. 56. P. 63–75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.03.003>
16. An Overview of the Influence of Physical Office Environments Towards Employee / Kamarulzaman N., Saleh A. A., Hashim S. Z., Hashim H., Abdul-Ghani A. A. // *Procedia Engineering*. 2011. Vol. 20. P. 262–268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.164>
17. Zhang M., Kang J., Jiao F. A social survey on the noise impact in open-plan working environments in China // *Science of The Total Environment*. 2012. Vol. 438. P. 517–526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.082>
18. Зепкіна В. Б., Паустовський Ю. О. Гігієнічні особливості умов праці і стану здоров'я офісних працівників // *Науковий вісник Національного медичного університету імені О. О. Богомольця*. 2011. № 1. С. 90–95.
19. Camusso C., Pronello C. A study of relationships between traffic noise and annoyance for different urban site typologies // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2016. Vol. 44. P. 122–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.007>
20. The cumulative effect of nuisances from road transportation in residential sectors on the Island of Montreal – Identification of the most exposed groups and areas / Carrier M., Apparicio P., Séguin A.-M., Crouse D. // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2016. Vol. 46. P. 11–25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.03.005>
21. Wolfe P. J., Kramer J. L., Barrett S. R. H. Current and future noise impacts of the UK hub airport // *Journal of Air Transport Management*. 2017. Vol. 58. P. 91–99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.09.002>
22. Ozkurt N., Hamamci S. F., Sari D. Estimation of airport noise impacts on public health. A case study of İzmir Adnan Menderes Airport // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2015. Vol. 36. P. 152–159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.002>
23. Lawton R. N., Fujiwara D. Living with aircraft noise: Airport proximity, aviation noise and subjective wellbeing in England // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2016. Vol. 42. P. 104–118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.11.002>
24. Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress / Bakker R. H., Pedersen E., van den Berg G. P., Stewart R. E., Lok W., Bouma J. // *Science of The Total Environment*. 2012. Vol. 425. P. 42–51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.005>
25. Open-plan office noise: Cognitive performance and restoration / Jahncke H., Hygge S., Halin N., Green A. M., Dimberg K. // *Journal of Environmental Psychology*. 2011. Vol. 31, Issue 4. P. 373–382. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2011.07.002>
26. Vassie K., Richardson M. Effect of self-adjustable masking noise on open-plan office worker's concentration, task performance and attitudes // *Applied*

Acoustics. 2017. Vol. 119. P. 119–127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.12.011>

27. Work performance in private office rooms: The effects of sound insulation and sound masking / Hongisto V., Varjo J., Leppämäki H., Oliva D., Hyönä J. // Building and Environment. 2016. Vol. 104. P. 263–274. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.022>

28. Tang S. K., Wong C. T. Performance of noise indices in office environment dominated by noise from human speech // Applied Acoustics. 1998. Vol. 55, Issue 4. P. 293–305. doi: [https://doi.org/10.1016/s0003-682x\(98\)00008-5](https://doi.org/10.1016/s0003-682x(98)00008-5)

29. Passero C. R. M., Zannin P. H. T. Acoustic evaluation and adjustment of an open-plan office through architectural design and noise control // Applied Ergonomics. 2012. Vol. 43, Issue 6. P. 1066–1071. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.03.007>

30. ДСТУ-Н Б В.1.1-34:2013. Настанова з розрахунку та проектування звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків. Київ, 2014. 92 с.

31. The UCLA Health Impact Assessment (UCLA-HIA). URL: <http://www.hiaguide.org/>

32. Open-plan office noise: Cognitive performance and restoration / Jahncke H., Hygge S., Halin N., Green A. M., Dimberg K. // Journal of Environmental Psychology. 2011. Vol. 31, Issue 4. P. 373–382. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2011.07.002>